REQ. NO. 1-9089

CONTRACT REPORT NO. OSQ81-00125

UTILISATION DE SCHISTES ET DE MATERIAUX SCHISTEUX DANS LE BETON

1982

PAR

J. Hode Keyser et M.A. Laforte
Centre de Recherche et de Contrôle Appliqué à la Construction

Ce travail a été effectué sous l'auspice
d'Energie, Mines et Ressources Canada

Numéro de filière DSS	:	23440-1-9089
Numéro du contrat DSS	:	OSQ81-00125
Numéro du projet CANMET	:	360063
Responsable scientifique de CANMET	:	V.M. Malhotra

61pp

Juillet 1982

TABLE DES MATIERES

		PAGE
	RESUME EN ANGLAIS (ENGLISH SUMMARY)	1
1	INTRODUCTION	4
2	PRESENTATION DU PROBLEME	5
3	DISPONIBILITE DES GROS GRANULATS A BETON CONFORMES AUX NORMES	7
4	SOURCES DE GRANULATS NON CONFORMES	11
5	EVALUATION DES MATERIAUX SCHISTEUX COMME GRANULATS A BETON	15
	5.1 Classification des schistes et matériaux schisteux	15
	5.2 Méthodes d'évaluation des granulats schisteux	18
	5.2.1 Description des méthodes d'essai	19
	5.2.2 Evaluation de la marginalité des granulats	19
	5.2.3 Corrélation entre différentes méthodes d'essai	22
	5.3 Définitions des règles d'utilisation des granulats	25
6	BESOINS DE RECHERCHE	28
	ANNEXE 1	
1	ESSAI DE RESISTANCE	31
	1.1 Résistance à la compression statique	31
	1.2a Résistance à l'écrasement sous une compression statique	31
	1.2b Charge requise pour produire 10 % de fines à l'écrasement	32
2	ESSAI D'IMPACT ET D'ATTRITION	32

.../

		PAGE
2.1a	Indice d'impact	32
2.1b	Détermination de la valeur d'impact de granulat 8 à 12.5 mm	33
2.1c	Essai d'impact suédois	34
.2	Dégradation sous compactage giratoire	34
3	ESSAI DE DEGRADATION MECANIQUE	35
3.1	Résistance à l'abrasion des gros granulats par la machine Los Angeles	35
3.2	Dégradation sous l'action d'un marteau compacteur	35
3.3	Essai d'abrasion Los Angeles modifié	35
3.4	Dégradation due au compactage	36
4	USURE ET/OU POLISSAGE	36
4.1	Essai d'usure accélérée.....	36
4.2	Essai d'abrasion suédois	37
4.3	Coefficient de polissage accéléré	37
5	RESISTANCE AU RAYAGE DE GROS GRANULATS	38
6	ESSAI DE DEGRADATION	38
6.1	Action de l'eau oxygénée	38
6.2	Essai micro-deval en présence d'eau	39
6.3	Essai Washington.....	39
6.4	Dégradation humide dans un agitateur tournant	40
6.5	Essai de dégradation en présence d'eau	40
6.6	Essai californien	41
6.7	Dégradation dans un mélangeur "planétaire"..	41
7	MOUILLAGE ET SECHAGE	41
7.1	Essai de dégradation Franklin	41
7.2	Dégradation par mouillage et séchage	42
8	DEGRADATION PAR CYCLE DE GEL/DEGEL	42
8.1	Durabilité au sulfate de magnésium ou de sodium	42
8.2	Gel et dégel dans la saumure	43
9	ESSAI D'ABSORPTION	43
9.1	Absorption de granulats fins	43
9.2	Absorption des gros granulats	44
9.3	Essai d'absorption	44

.../

		PAGE
10	ANALYSES PETROGRAPHIQUES	44
	10.1 Nombre pétrographique	44
	10.2 Examen pétrographique des granulats pour béton	45
11	ESSAI DE L'INFLUENCE DE L'EAU SUR LES ENROBES ...	45
	11.1 Immersion de désenrobage de mélanges bitumineux	45
	11.2 Immersion statique modifiée.....	46
	11.3 Essai d'immersion Marshall	46
	11.4 Effet de l'eau sur la cohésion des mélanges bitumineux compactés	47
12	FORME DES PARTICULES	47
	12.1 Indice de forme	47
	12.2 Indice de forme (flakiness index).....	47
	12.3 Coefficient de forme AFNOR	48
13	DETERMINATION DES IMPURETES	48
	13.1 Détermination de mottes d'argiles et autres particules friables dans les granulats	48
	13.2 Détermination du pourcentage de particules passant le tamis No 200 (75 µ) par lavage..	48
14	NOCIVITE DES FINES	49
	14.1 Essai au bleu de méthylène	49
	14.2 Impuretés organiques dans les sable à béton	50
	14.3 Influence des impuretés organiques dans les granulats fins sur la résistance du mortier	50
	14.4 Mesure de réactivité potentielle de granulats (méthodes chimiques)	51
	14.5 Mesure de réactivité alcaline potentielle des roches carbonatées pour granulats à béton.....	51
	ANNEXE 2	52

ENGLISH SUMMARY

AVAILABILITY OF MARGINAL AND SHALY AGGREGATES IN THE METROPOLITAN MONTREAL AREA AND THEIR USE IN CONCRETE

As stated in the agreement, the purpose of this study is to:

1) Establish the current status of availability of conventional aggregates in metropolitan Montreal area and the need to develop shale aggregates as substitute.

2) Identify known available sources of shale in metropolitan Montreal area and assessement of economical haulage distances for this material when used as aggregate.

3) Identify known methods of evaluating concrete using shale as an aggregate.

4) Identify the research required to further evaluate concrete using shale as aggregate in concrete.

In order to carry out this work the following has been done:

a) A study of existing sources of good aggregates and factors which will influence their development.

b) A study of availability of shale and shale aggregates in relation to their exploitability.

c) An international survey on existing test methods to evaluate marginal aggregates.

d) Comprehensive literature survey.

.../.

The results of the availability of both normal and marginal aggregates are, respectively, presented on map 1 and map 2. The areas where marginal aggregates are most likely to be exploited in the future are show on map 3 along with the haulage distances of normal aggregates.

Note that the potential for using marginal aggregate has been based on three (3) criteria:

- The geological formations which contain marginal aggregates.
- The tickness of overburden.
- Provintial regulations regarding land use.

and that, the principal sources of marginal aggregate are:

- Shale limestone and dolomite.
- Shale of Utica and Lorraine formations.

More than fifty (50) test methods been identified through the survey. A short description of each method is given in the appendix. As indicated in table 1. Test methods have been classified in thirteen (13) categories as follows:

1 Static load tests
2 Dynamic load tests
3 Mecanical degradation tests
4 Wear or polishing tests
5 Striction tests
6 Degradation in presence of water
7 Degradation under wet-dry tests
8 Degradation by freezing and thawing
9 Absorption tests
10 Petrographic analysis
11 Particle shape
12 Impurities
13 Deleterious

.../3

Typical examples of existing correlations between different tests are given in the study.

Sixty two (62) articles on shale have been identified through library and computer searches, they have been classified in 8 categories: Geology (2), Production (1), Utilisation (14), Concrete aggregate (3), Foundation (1), Classification (8), Light weight aggregate (17), Characteristics (20). The searches clearly show that until now very little attention have been given to the potential uses of shale aggregate and shale in concrete: Most of the existing literature deals with cindered shale and expanded shale.

Given that the performance of shale and shale rocks in concrete depend mainly on the characteristics of shale and its condition of use, the following research needs have been identified:

1) Development of a simple, rapid and precise test that can be used to establish acceptance criteria for use in differents conditions.

2) Development of a meaningfull classification system which can be used for the selection of shale or shale aggregate.

3) Evaluation and characterisation of existing structures containing shale or shale aggregate under different environmental conditions.

4) Determination of the possible beneficiation methods that can be used to produce a concrete of desired strength and durability. These methods could be achieved for example through the blending of shale and shale aggregate with more noble aggregate, by precoating aggregate particles or any other economical methods.

1 INTRODUCTION

Bien que, dans l'ensemble, la géologie de Montréal soit favorable à la production locale de granulats grossiers à béton conformes aux exigences actuelles (6, 7), le développement urbain et les problèmes croissants d'économie de l'énergie font que les formations adéquates concentrées dans les périmètres urbanisés sont de plus en plus difficiles à exploiter.

Suite à une expérience favorable sur l'utilisation des granulats non conformes (ou marginaux) * dans les bétons bitumineux (1), les auteurs ont voulu étendre leur étude sur l'utilisation de ces granulats dans le béton de ciment. Pour ce faire, une étude d'orientation comprenant une recherche bibliographique et l'établissement de l'état des connaissances sur les expériences d'utilisation des matériaux schisteux dans des cas concrets a été effectuée. L'étude était commanditée par le ministère de l'Energie, Mines et Ressources Canada.

Le rapport présente les résultats de cette étude axée principalement sur les besoins en granulats dans un rayon de plus ou moins 80 km de Montréal. Elle comporte cinq (5) parties:

1) étude de la disponibilité actuelle et future des sources de granulats grossiers conformes, en relation avec la géologie de Montréal,

---

* Les granulats marginaux sont ceux dont les caractéristiques, évaluées par les essais normalisés habituels, ne sont pas conformes aux exigences des normes. Ce sont, dans la région de Montréal, les calcaires et dolomies schisteux et les schistes argileux.

.../5

2) étude de la disponibilité des granulats dits marginaux,
3) étude de la documentation disponible sur l'utilisation des granulats schisteux dans le béton et de la problématique reliée à la classification des matériaux schisteux et aux normes d'utilisation possible,
4) état des connaissances sur l'évaluation des granulats marginaux,
5) identification des besoins de recherche dans le domaine de l'utilisation des matériaux schisteux dans le béton, de la région de Montréal.

2 PRESENTATION DU PROBLEME

Depuis 1972, la crise de l'énergie et la récession économique nous obligent à repenser les normes de construction, particulièrement en ce qui concerne une utilisation plus rationnelle des matériaux.

Parallèlement, depuis 1976 au Québec, des réformes sociales et urbaines ont été entreprises qui, dans la seule région de Montréal, tendent à éliminer l'expansion irrationnelle des banlieues et à densifier l'occupation des terrains urbains existants tout en protégeant les terres arables de la spéculation (Loi de la protection des terres agricoles). On voit également apparaître une réglementation plus sévère vis-à-vis la protection de l'environnement (air, eau, bruit).

Ces changements technologiques et sociaux ont d'ailleurs affecté les industries de pierre concassée, établies à l'origine aux limites des villes. Elles ont vu leurs limites se rétrécir et plusieurs de leurs terrains s'insulariser.

Par ailleurs, malgré leur participation directe au développement urbain, ces industries sont de plus en plus considérées comme nuisibles tant du point de vue esthétique (trous béants) qu'environnemental (bruit et pollution de l'air).

Comme le besoin en matériaux est réel, plusieurs producteurs de pierre cherchent à se déplacer aux limites de l'agglomération montréalaise (Demix St-Jacques, Désourdy Chambly, région de Mirabel). Cependant, les contraintes suivantes limitent les possibilités réelles de relocalisation:

- Les terrains à développer ne sont pas toujours disponibles, principalement en raison de la "Loi de la protection des terres agricoles" et de la "Loi de la protection de l'environnement".

- La relocalisation peut augmenter les coûts de transport vers les lieux de développement importants, comme par exemple "L'opération 10 000 logements à Montréal" et "La revalorisation du centre-ville à Laval".

- La géologie n'est pas toujours favorable.

Alors que les deux premières contraintes sont toujours d'ordre légal et reliées aux besoins réels d'ouverture de carrières (économie du marché), la troisième est essentiellement de nature technologique, car en raison du besoin de conserver l'énergie et les ressources, les matériaux produits doivent être compatibles avec l'utilisation projetée et les normes doivent être revisées en fonction des nouvelles exigences.

La présente étude vise à faire le point sur ce problème technologique et en particulier sur l'utilisation possible de granulats considérés comme marginaux dans la fabrication de ciment.

Le béton de ciment est un des principaux matériaux de construction (routes, fondations, édifices) et les granulats constituent près de 75 % de son volume, dont environ 40 % pour le granulat grossier (dont les particules sont retenues sur le tamis No 4).

Déjà, l'industrie montréalaise du béton importe de la région de Joliette, à plus de 50 km, la presque totalité de granulats fins (sable à béton).

Par ailleurs, la presque totalité du gros granulat est produite à partir des calcaires et des filons-couches locaux de roches ignées. Cependant, ces matériaux conformes aux normes existantes s'épuisent rapidement alors que des granulats marginaux pourraient être disponibles dans les mêmes carrières.

IL importe donc de déterminer la possibilité d'utiliser des granulats marginaux dans le béton de ciment.

3 DISPONIBILITE DES GROS GRANULATS A BETON CONFORMES AUX NORMES

Les formations géologiques de la région de Montréal peuvent fournir une grande quantité de bons granulats (tableau 1 et planche 1).

Les formations géologiques les plus intéressantes sont (références 1 et 2):

a) les calcaires de Black River
b) les calcaires de Trenton
c) les formations inférieures du Beekmantown
d) les formations supérieures du Chazy
e) les nombreux filons-couches et intrusifs reliés à l'orogénie montérégienne disséminés dans les formations précédentes.

TABLEAU 1

ROCHES PROVENANT DES FORMATIONS GEOLOGIQUES DONNANT DES GRANULATS A BETON CONFORMES AUX DEVIS COURANTS

FORMATION GEOLOGIQUE	TYPE DE ROCHE	EPAISSEUR (mètre)	MATERIAUX	CARRIERES EN EXPLOITATION
BEEKMANTOWN (inférieur)	DOLOMIE	204	DOLOMIE CALCAIREUSE	ST-EUSTACHE ST-ISODORE
CHAZY (supérieur)	CALCAIRE	57	CALCAIRE ET CALCAIRE SCHISTEUX	RIVERMONT DEMIX-LAVAL SIMARD BEAUDRY CORIVAL
BLACK RIVER	CALCAIRE	15	CALCAIRE CRISTALLIN	MIRON
TRENTON	CALCAIRE	178	CALCAIRE ET CALCAIRE SCHISTEUX	MIRON FRANCON MTL-EST-FRANCON DEMIX-MTL-EST
INTRUSIONS MONTEREGIENNES		0.2 @ 60	"TRAPP ROCK"	DEMIX-VARENNES ST-BRUNO

GEOLOGIE TH CLARK, Rapport géol. : No 152. Région de Montréal, 1972
(réf. 1, 2)

Une quinzaine de carrières (tableau 2) produisent des granulats à béton, principalement dans les formations a, b, c, (planche 1).

Cependant, presque toutes les carrières existantes sont situées à proximité ou à l'intérieur des régions urbanisées et certaines pressions d'ordre environnemental cherchent à éliminer les carrières trop près des centre-villes.

De même, les principales exploitations existantes sont très profondes et les bons matériaux produits s'épuisent rapidement et entraînent donc un recours aux granulats marginaux (carrières 1 et 2 notamment, tableau 2).

A l'extérieur des villes, les formations rocheuses sont souvent recouvertes d'une épaisseur appréciable de mort-terrain (8 m et plus) et la qualité des roches disponibles devient marginale. On y trouve du schiste argileux, du calcaire et de la dolomie schisteux.

Ainsi, à moins de changements importants dans la demande de granulats à béton qui pourrait résulter, par exemple, d'une récession économique, d'une croissance démographique et industrielle nulle ou négative, ou d'une réutilisation massive des granulats provenant des matériaux de démolition, on peut prévoir:

a) la fermeture éventuelle des principales sources de bons matériaux suite à l'urbanisation et aux pressions publiques.
b) l'importation de granulats granitiques provenant des Laurentides avec un coût de transport élevé (1),
c) l'utilisation de granulats locaux aujourd'hui considérés comme marginaux (calcaire et dolomie schisteux ou schiste argilo-calcaireux) ou à rejeter (schiste argileux).

.../10

TABLEAU 2

PRINCIPALES CARRIERES PRODUISANT

DES GRANULATS POUR BETON DANS LA REGION METROPOLITAINE DE MONTREAL

NO	NOM	LOCALISATION GEOLOGIQUE	ADRESSE
1	Miron * Léon Gobin	Trenton	2201, Crémazie Est MONTREAL H1Z 2C1
2	Francon * M. Lapimas	Trenton	8300, boul. Pie-IX MONTREAL H1Z 3T6
3	Demix-Laval *	Chazy	
4	Demix-Montréal-Est Marcel Tremblay	Trenton	4000, Bois Franc Ville St-Laurent
5	Demix-Varennes	Intrusif et montéregien	
6	Corival * Jean Rizutto	Chazy	4885, St-Elzéard Est DUVERNAY H7P 4G3
7	St-Eustache * Normand Mathers	Beekmantown	Case Postale 330 ST-EUSTACHE J7P 4K6
8	L'Epiphanie * J.Claude Leduc	Trenton	861, rang Lachigan sud L'EPIPHANIE J0K 1J0
9	Bernier St-Jean Jacques L'Ange	Trenton	25, Petit Bernier Case postale 548 ST-JEAN-SUR-RICHELIEU J3B 6Z8
10	Desourdy Carignan	Lorraine	3350, Sir Wilfrid Laurier
11	Desourdy St-Jacques* Réjean Gingras	Trenton, Black-River	ST-HUBERT J3Y 6T2
12	Lagacé-Laval* Réjean Lambert	Chazy	1450, Laurentien VILLE DE ST-LAURENT
13	Ducharme* Guy Ducharme	Beekmantown	route rurale no 1 Covey Hill Hemmingford J0L 1H0
14	Carrière Montréal* Marcel Tremblay	Trenton, Black-River	4000, Bois Franc VTLLE ST-LAURENT
15	St-Isidore	Chazy, Beekmantown	
16	St-Dominique	Black-River, Trenton	
17	St-Bruno	Intrusions montérégiennes	

4 SOURCES DE GRANULATS NON CONFORMES

Le tableau 3 et la carte de la planche 2 représentent les formations géologiques pouvant recéler des matériaux schisteux, en général non conformes aux normes de gros granulats pour le béton.

Ces formations se trouvent en général dans des terrains rocheux à faible couverture de mort-terrain, à l'exception des formations schisteuses d'Utica et de Lorraine, qui sont généralement couvertes d'une épaisseur importante de mort-terrain.

Les formations de nature principalement calcaireuse affleurent surtout au nord de Montréal, c'est-à-dire à Laval, dans les comtés de Terrebonne et de l'Assomption avec une légère bande au sud du St-Laurent.

Les dépôts schisteux forment la majeure partie du substratum rocheux de l'ensemble des basses terres du St-Laurent. Ils sont généralement couverts de plus de 15 m de mort-terrain.

Comme pour les ressources possibles de bons granulats, la possibilité d'ouvrir des carrières dépendra surtout du degré d'urbanisation dans les zones de formations calcaireuses et schisteuses alors que l'épaisseur de couverture et la "Loi de protection des terres agricoles" pourront freiner l'utilisation répandue des dépôts de schistes ou de schistes calcaireux.

Sur la planche 3 on a tenté d'illustrer le potentiel d'utilisation des granulats marginaux en combinant les facteurs:

- géologiques : formations rocheuses pouvant produire des matériaux considérés comme marginaux.

.../12

TABLEAU 3

GEOLOGIE DES FORMATIONS DONNANT DES CALCAIRES SCHISTEUX ET SCHISTES ARGILEUX DANS LA REGION DE MONTREAL

FORMATION GEOLOGIQUE	DEPOTS CALCAIRO-SCHISTEUX	PRINCIPAUX MATERIAUX
BEEKMANTOWN	- Partie supérieure au contact du Chazy - Puissance de 119 m avec un pendage de 1 à 2 % - Largueur en surface de ±11.9 km	- Schiste argileux noirs-calcaire et schistes argileux - Schistes argileux et dolomie
CHAZY	- Partie à la base du Chazy - Puissance de 29 m avec un Pendage de ± 1 % - Largeur en surface de± 2.9 km	- Schistes argileux - Calcaire schisteux - Grès schisteux
BLACK RIVER	NIL	NIL
TRENTON	- Partie supérieure de la formation St-Michel - Puissance de ± 8 m avec un pendage de ± 1 % - Largeur en surface de 0.8 km	- Calcaire schisteux (3-20 cm) - Schistes argileux (3 cm)
UTICA	- Schistes argileux - Puissance entre 90 et 200 m	- Schiste argileux noir
LORRAINE	- Schistes argileux arénacés et grès argilacés - Puissance maximum de 760 m	- Schistes argileux - Grès argileux/pailettes de micas abondantes

- techniques: épaisseur de mort-terrain
- humains : zone urbanisée, terrains protégés par la "Loi de protection des terres agricoles". Cette carte permet de définir les zones propices à l'exploitation des granulats marginaux.

IL existe,dans la région de Montréal,deux principales sources de granulats marginaux:

- les calcaires schisteux et les dolomies schisteuses des formations de Beekmantown, Chazy et Trenton, et
- les schistes argileux des formations d'Utica et de Lorraine.

Les granulats provenant de ces matériaux sont généralement évalués et classés par des essais conventionnels de durabilité et d'absorption et dans certains cas, par la détermination du nombre pétrographique (tableau 4).

Dans la plupart des cas, les granulats marginaux sont rejetés sur la base d'une étude pétrographique selon la norme ASTM C-295 et/ou la détermination du nombre pétrographique selon la norme du BNQ. Mises à part quelques expériences locales plus ou moins négatives, il n'existe pas de méthode rationnelle permettant d'évaluer si les granulats marginaux localement disponibles pourraient être utilisés dans le béton de ciment.

Par ailleurs, on pourrait croire, comme l'expérience l'a prouvé dans le cas du béton bitumineux, que des matériaux marginaux pourraient, selon de nouveaux critères d'acceptation, être utilisés dans certains bétons.

TABLEAU 4

EXIGENCES DES DEVIS ENTRAINANT
L'ELIMINATION DES SCHISTES* COMME GRANULATS A BETON

CARACTERISTIQUES	METHODES D'ESSAIS	EXIGENCES	valeur typique pour les schistes*
POURCENTAGE DE PARTICULES PLATES ET ALLONGEES - %	U.S. CORPS OF ENGINEER	< 15 %	> 30 %
NOMBRE PETROGRAPHIQUE	ASTM C-295	< 120 ou < 150	160 → 600
DURABILITE AU SULFATE DE MAGNESIUM - %	ASTM C-88	18 %	5 → 80 %
ABSORPTION - %	ASTM C-127	< 1.5 %	0.4 → 6 %
SUBSTANCES DELETERES - matières organiques - passant 0.074 micron - particules molles - particules friables	ASTM C-40 C-117 C-213	 < 3 @ 5 % 0.5 - 1 %	variable > 1 - 2 % > 1 - 2 %

* Schistes argileux, calcaire schisteux et dolomie schisteuse (d'après la référence 3)

5 EVALUATION DES MATERIAUX SCHISTEUX COMME GRANULATS A BETON

En fonction des normes actuelles pour les granulats à béton, les schistes et granulats schisteux présentent plusieurs caractéristiques défavorables (réf. 6 et 7)résumées sur le tableau 5. Cependant, ces caractéristiques n'ont pas fait l'objet d'études systématiques du comportement en service.

Au départ, deux problèmes pourraient se poser vis-à-vis l'évaluation de ces matériaux comme granulats à béton:

- l'évaluation des granulats marginaux en fonction des méthodes de classification existantes ou à développer pour leur usage spécifique comme granulats à béton,
- la définition des règles d'utilisation des granulats marginaux comme matériau naturel ou matériau amélioré (par mélange ou par bénéfaction).

5.1 Classification des schistes et matériaux schisteux

Les formations schisteuses sont les dépôts sédimentaires les plus fréquents. Les caractéristiques des matériaux schisteux varient beaucoup selon leur origine géologique. Les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux diffèrent donc d'une formation à l'autre.

La plupart des systèmes de classification des schistes sont basés (voir tableau 6) sur leur résistance à la dégradation dans le temps sous les effets de l'eau et du gel, et ce en fonction des problèmes géotechniques tels que la stabilité des pentes, le comportement de remblai important, et la fondation sur rocher (réf. 8 @ 16).

.../16

TABLEAU 5

INFLUENCES NEGATIVES POSSIBLES DE L'UTILISATION DES GRANULATS SCHISTEUX DANS LE BETON

Paramètres reliés au granulat	INCONVENIENTS
Forme des particules	L'alignement des particules dans le mélange peut entrainer les créations de plans de fissuration prédéfinie
Texture de surface	Absorption relativement élevée (jusqu'à 6-7 %)
Résistance mécanique, dureté ou résistance à l'abrasion	1) Dégradation lors de la fabrication, la mise en réserve et le transport des granulats 2) Dégradation lorsque soumis aux chocs ou exposés aux intempéries 3) Surface devenant facilement poudreuse qui affecte l'adhésion mortier-granulat et provoque l'apparition de la fissuration au contact mortier-granulat 4) Présence de plans de fissuration préférentielle dans le granulat le long des plans de schistosité 5) La rigidité du granulat peut être inférieure à la rigidité de la pâte, favorisant ainsi le bris de la pâte.
Composition chimique et minérale	La présence d'impuretés organiques et de pyrite dans certains schistes favorise les réactions délétères avec le ciment.

TABLEAU 6

CLASSIFICATION DES MATERIAUX SCHISTEUX

AUTEURS	réf.	BASE DE CLASSIFICATION
Underwood 1967	11	Origine géologique Composition chimique et minérologique Fissilité Résistance mécanique Détérioration physique
Meade 1936	11,12	Origine géologique
Morgenstein et Eigenbord 1974	12	Perte de résistance mécanique après immersion dans l'eau Détérioration à l'essai de mouillage-séchage
Déo 1973	9	Durabilité au sulfate de magnésium Stabilité après divers cycles de mouillage-séchage
Philbrick 1950	10	Détérioration suite au mouillage-séchage
Franklin 1970	15	Résistance à l'abrasion humide
Hamsol 1961	13	Détérioration suite à un séchage au four et mouillage ultérieur
Chapman 1975 "Etat des connaissances"	8	Essais Los Angeles Résistance à l'abrasion humide Résistance au cycle mouillage-séchage Essais d'impat au marteau Schmidth
Ledbetter et all 1969	64	Teneur en eau après 100 minutes d'immersion Essai d'abrasion Essai de mouillage-séchage Essai de gel-dégel

Bien que la durabilité soit généralement considérée comme le principal facteur affectant le comportement du schiste dans le béton, il y a lieu ici de souligner que la plupart des études ont été effectuées sur des matériaux schisteux plus tendres, d'origine géologique plus récente que les dépôts schisteux de Montréal. Comme l'âge joue un rôle non négligeable dans l'amélioration des propriétés mécaniques des schistes (11), une classification des matériaux locaux plus anciens serait nécessaire.

IL importera donc d'abord de répertorier a) les propriétés des schistes et des matériaux schisteux et b) les dépôts schisteux de la région de Montréal, puis de définir un système de classification convenant à l'usage de ces matériaux comme granulat à béton (eg. réf. 64).

5.2 Méthodes d'évaluation des granulats schisteux

Les divers changements technologiques liés à la crise d'énergie ou au besoin de conserver les ressources ont favorisé le développement des méthodes d'évaluation des granulats marginaux. Ces méthodes permettent généralement d'évaluer les principaux caractères de marginalité.

- Résistance aux charges statiques et/ou dynamiques
- Résistance à la dégradation mécanique et/ou au rayage
- Résistance à l'usure et au polissage
- Résistance à la dégradation en présence d'eau
- Résistance aux cycles de mouillage et séchage
- Résistance aux cycles de gel et dégel
- Nocivité des fines dans le béton

5.2.1 Description des méthodes d'essai

Un résumé des méthodes d'essai est donné sur le tableau . Pour chaque méthode d'essai indiquée sur le tableau, on trouve en annexe une description sommaire, les normes de référence et des valeurs types.

5.2.2 Evaluation de la marginalité des granulats

L'évaluation de la marginalité d'un granulat peut être basée sur plusieurs essais.

Exemple 1

L'état de Pennsylvania a développé une méthode de classification des schistes suivant leur résistance à la dégradation. Elle consiste à déterminer le facteur de dégradation du schiste en se basant sur les résultats des 3 essais suivants:

- Dégradation sous compactage giratoire (D_1)
- Dégradation sous l'essai Washington (D_2)
- Dégradation par mouillage et séchage (D_3)

Avec les résultats d'essai D_1, D_2 et D_3, on détermine à l'aide du tableau A-2, les facteurs de dégradation pour chacun des essais
$FD = \overline{FD_1} \times \overline{FD_2} \times \overline{FD_3}$

Les schistes (de Pennsylvania) sont ensuite classés suivant leurs facteurs globaux de dégradation (FD), comme montré, suivant la norme résumée au tableau A-3.

.../20

TABLEAU A-1

Tableau 1 Classification des méthodes d'essai

1.0	Charge statique	1.1	Résistance à la compression statique	R.U.
		1.2a	Résistance à l'écrasement sous une compression statique	Belgique, R.U.
		1.2b	Charge requise pour produire 10% de fines à l'écrasement	Canada, Irlande, R.U.
2.0	Charge dynamique	2.1a	Indice d'impact	Irlande, R.U.
		2.1b	Valeur d'impact	R.F.A.
		2.1c	Essai d'impact	Suède
3.0	Dégradation mécanique	3.1	Abrasion Los Angeles	Canada, E.U.
		3.2	Dégradation mécanique LA modifié	E.U.
		3.3	Dégradation sous compactage par pétrissage	E.U.
		3.4	Dégradation sous compactage dynamique	E.U.
		3.5	Dégradation sous compactage giratoire	E.U.
4.0	Usure et/ou polissage	4.1	Essai d'usure accélérée	Irlande, R.U.
		4.2	Essai d'usure Suédois	Suède
		4.3	Coefficient de polissage accéléré	Belgique, R.U.
5.0	Rayage	5.1	Résistance au rayage	Canada, E.U.
6.0	Dégradation en présence d'eau	6.1	Action de l'eau oxygénée	Espagne
		6.2	Micro Deval en présence d'eau	France
		6.3	Essai Washington	E.U.
		6.4	Essai Suédois	Suède
		6.5	Essai Oregon	E.U.
		6.6	Essai Californien	E.U.
7.0	Dégradation par mouillage et séchage	7.1	Essai de dégradation Franklin	Canada, E.U.
		7.2	Dégradation par mouillage et séchage	E.U.

8.0	Dégradation par cycles de gel-dégel	8.1	Durabilité au sulfate de magnésium ou de Sodium	Canada, E.U.
		8.2	Gel et dégel dans la saumure	Suède
9.0	Absorption	9.1	Granulats fins	Canada, E.U.
		9.2	Gros granulats	Canada, E.U.
		9.3	Essai Ontario	Canada
10.0	Analyse pétrographique	10.1	Détermination du nombre pétrographique	Canada
		10.2	Examen pétrographique des granulats pour béton	Canada, E.U.
11.0	Désenrobage	11.1	Essai de désenrobage des mélanges bitumineux	Canada, E.U.
		11.2	Immersion statique modifié	Canada
		11.3	Immersion Marshall	Canada
		11.4	Effect de l'eau sur la cohésion des mélanges bitumineux	Canada, E.U.
12.0	Forme des particules	12.1	Indice de forme	Suède
		12.2	Indice de forme BS	R.U.
		12.3	Coefficient de forme AFNOR	France
13.0	Impureté	13.1	Détermination des mottes d'argile et autres particules friables dans les granulats	Canada, E.U.
		13.2	Détermination des particules passant le tamis 0.074 mm	Canada, E.U.
14.0	Nocivité des fines	14.1	Essai au bleu de méthylène	France
		14.2	Impureté organiques dans les sables à béton	Canada, E.U.
		14.3	Influence des impuretés organiques dans les granulats fins sur la résistance du mortier	Canada, E.U.
		14.4	Réactivité potentielle des granulats	Canada, E.U.
		14.5	Réactivité alcaline potentielle des roches	Canada, E.U.

Exemple 2

En Suède, les granulats sont classés en 3 gro es selon leur susceptibilité à la dégradation comme montré sur la figure A-1. La classification est basée sur la valeur d'impact et l'indice de forme.

5.2.3 Corrélation entre différentes méthodes d'essai

La corrélation entre différentes méthodes d'essai n'est généralement pas bonne pour une ou plusieurs des raisons suivantes:

a) Les granulats et leur marginalité diffèrent d'un pays à l'autre: Par exemple, deux (2) essais n'auront pas nécessairement le même degré de corrélation avec deux (2) schistes différents.

b) Même si deux essais sont basés sur le même principe, le degré de sévérité peut être différent. Par exemple, l'essai de durabilité aux sulfates (ASTM-C88) peut donner des résultats très différents selon que l'on utilise du $MgSO_4$ ou $NaSO_4$, l'essai au $MgSO_4$ étant beaucoup plus sévère. La corrélation entre les résultats obtenus pour différents granulats avec la même méthode d'essai, et les deux types de sulfate normalisés n'est pas bonne. Ceci est montré sur la figure A-2 du ministère des Transports du Québec.

c) Les essais de même nature n'ont pas exactement la même signification. Par exemple, en Amérique du Nord, on se réfère normalement à un ou plusieurs des essais suivants pour évaluer la résistance aux intempéries des granulats:

- Essai d'absorption
- Essai de durabilité aux sulfates
- Essai de gel-dégel
- Essai de mouillage-séchage
- Nombre pétrographique
- Essai Franklin pour les schistes

.../23

FIGURE A-2

RELATION ENTRE L'ESSAI DE DURABILITE AU SULFATE DE MAGNESIUM
ET L'ESSAI AU SULFATE DE SODIUM

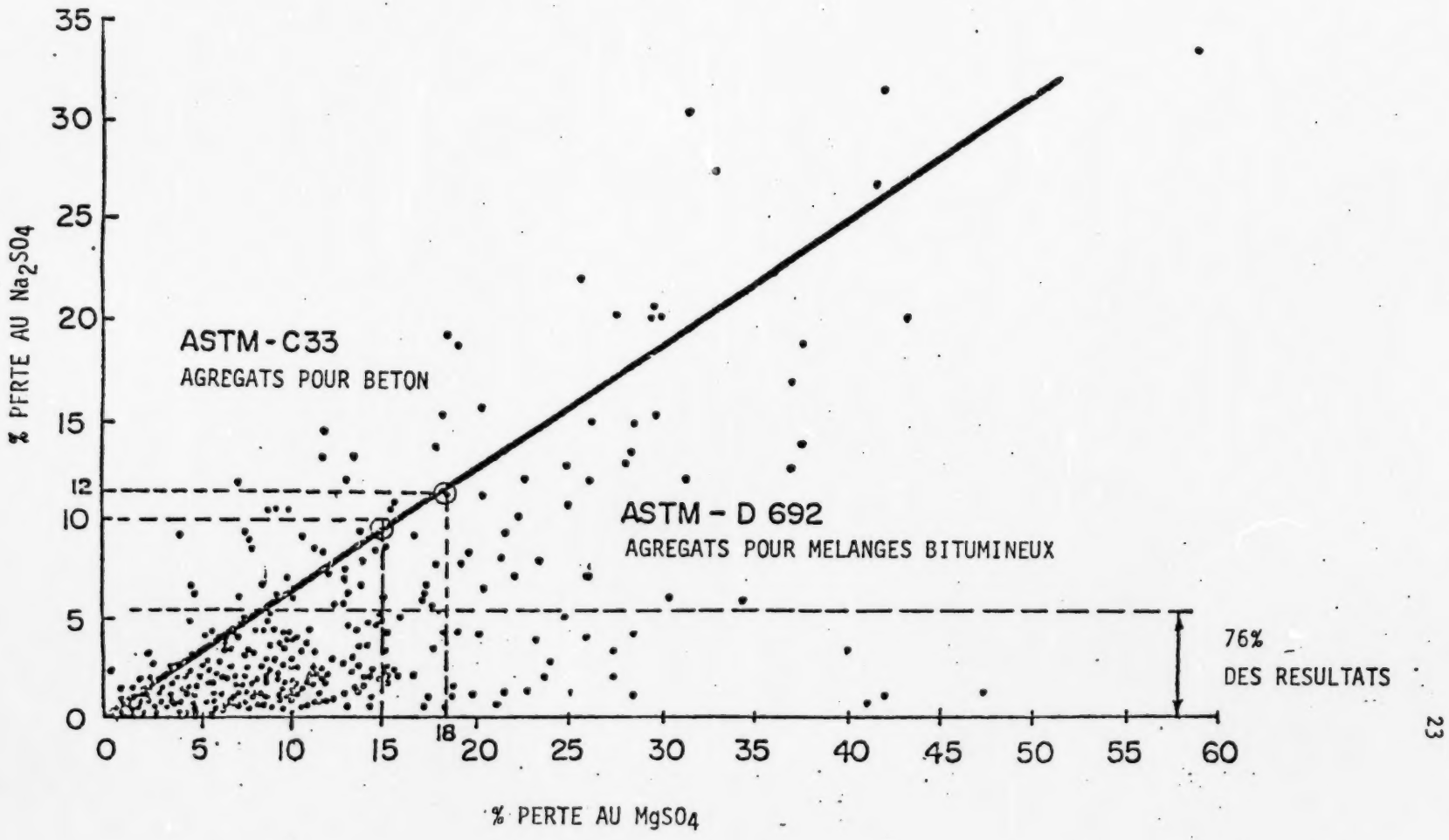
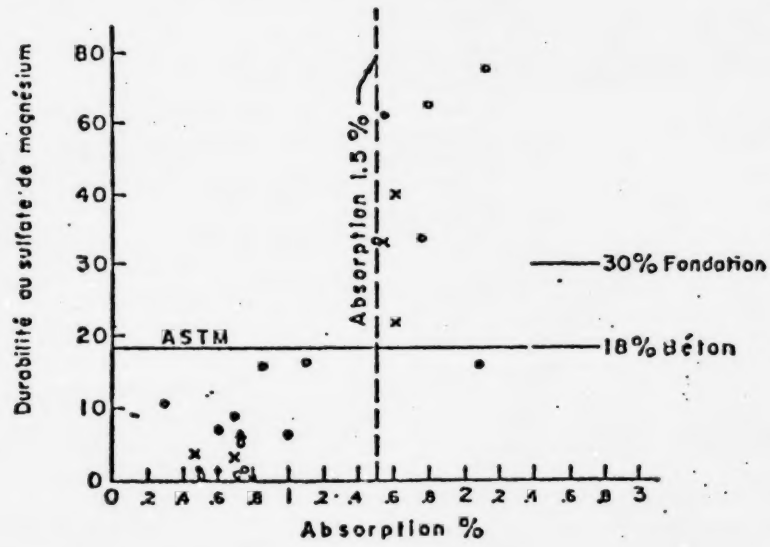
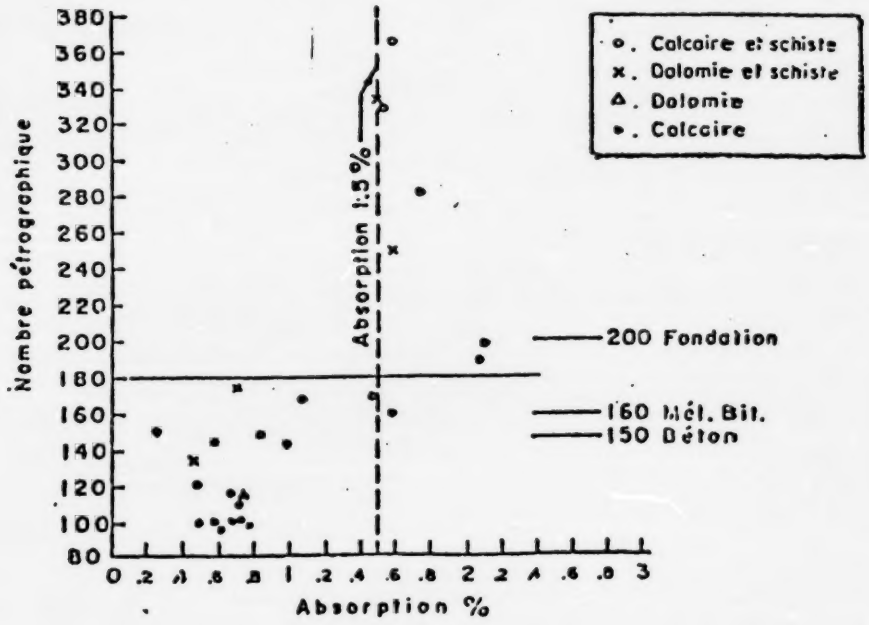


Fig.A-3 - RELATION ENTRE LA DURABILITÉ AU SULFATE DE MAGNÉSIUM, LE NOMBRE PÉTROGRAPHIQUE ET L'ABSORPTION





A titre d'exemple, on montre sur la figure A-3 la relation qui existe entre l'absorption, la durabilité au sulfate de magnésium et le nombre pétrographique pour les 4 types de granulat que l'on trouve au Québec. On y constate que le granulat est durable si une des trois conditions suivantes est satisfaite: Un pourcentage d'absorption inférieur à 1.5 %; une perte au sulfate de magnésium inférieur à 1.8 % ; un nombre pétrographique inférieur à 180. Par contre, on ne peut pas dire qu'il existe une bonne corrélation entre les trois méthodes d'essai. Par ailleurs, Hudec a démontré que pour les schistes de l'Ontario, il existe une bonne corrélation entre les essais suivants: ($r > 0.95$)

- Essai Franklin vs essai mouillage-séchage
- Essai Franklin vs essai gel-dégel

et une corrélation passable ($r > 0.70$) entre l'essai d'absorption et les essais Franklin et gel-dégel. En ce qui concerne la dégradation sous des charges mécaniques, il existe une corrélation entre l'essai Los Angeles (LA) et l'essai d'impact Allemand:

$$LA = 72753 + 0.03497 \times (sz\ 8/12)^2$$

5.3 Définitions des règles d'utilisation des granulats

En raison de l'occurence commune des schistes, soit à l'état naturel, soit comme rebut d'exploitation des mines de charbons, plusieurs études concernant l'utilisation de ces matériaux comme granulats (à béton ou routier) ont été effectuées.

Selon l'utilisation particulière du schiste dans le béton de ciment, on peut, comme montrer sur le tableau 7, diviser les recherches

..../26

en deux grandes catégories:

- les recherches sur le comportement du béton produit en utilisant des granulats schisteux non améliorés,
- les recherches sur le comportement du béton fait avec des granulats schisteux transformés et utilisés soit en remplacement du ciment (cindered shale) soit comme granulat léger (expanded shale).

a) Granulats schisteux non améliorés

Les recherches effectuées sont plutôt défavorables et confirment souvent les préjugés ou opinions traditionnels à l'effet que les schistes ne sont pas durables. On rapporte en ce sens des problèmes de réaction alcali-granulat ou d'expansion entraînant un mauvais comportement en service du béton fabriqué (réf. 17 @ 26).

b) Granulats schisteux améliorés

- utilisés en remplacement du ciment: plusieurs avantages sont cités alors que le matériau agit comme un pouzzolane (réf. 27 @ 34).
- utilisés comme granulat léger: le schiste expansé possède les avantages et inconvénients des granulats légers normaux (réf. 35 @ 48).

L'amélioration des granulats schisteux exige cependant une quantité d'énergie appréciable bien qu'une partie puisse être récupérée (réf. 52 @ 54).

TABLEAU 7

EXPERIENCES ACTUELLES DE L'UTILISATION DES GRANULATS SCHISTEUX DANS LE BETON DE CIMENT

EXPERIENCES	REFERENCES
a) Schistes non améliorés	
Conclusions défavorables	
- réaction alcali-agrégat	17
- réaction d'expansion	18,19,20,21,22
- désagrégation rapide	23,24
- réaction sulfure-ciment	18
- effet retardateur et difficulté de compaction	25
Conclusions favorables	
- amélioration de l'ouvrabilité	26
b) Schistes améliorés	
Remplacement du ciment "Cindered shale"	
- renforcement du béton	27,29,30,32
- prévention de réactions adverses	28,(31),32
- amélioration de la manoeuvrabilité	33,34,31
Agrégats légers "Expanded shale"	
- renforcement négatif du béton	35,36,37,38,39
- prévention des réactions adverses	
. négatif	40,41
. positif	42,43,44
- amélioration des caractéristiques du béton	45,46,47,48
c) Utilisation des schistes comme granulats légers	
- études locales	49,50,51
- amélioration des schistes et granulats marginaux	52,53
- économie des processus	53,54
d) Classification des granulats artificiels	64

IL existe un grand nombre d'études sur l'utilisation des schistes comme granulat léger. Ces études ont fait l'objet d'un certain nombre de publications sur l'état des connaissances en Angleterre, en Belgique, en France et en Allemagne (réf. 49 @ 63).

Pour les granulats marginaux des carrières existantes ou futures, il n'existe pratiquement pas d'informations publiées, même si la production actuelle de granulats de certaines carrières est à la limite de la marginalité.

6 BESOINS DE RECHERCHE

Les exigences concernant les caractéristiques requises des granulats dépendent du type de construction (chaussées rigides, fondation de béton, structures exposée et non exposée, etc.), des conditions climatiques (fréquentes et intensité de la pluie et de la neige, température, etc.). D'une façon générale, les propriétés requises d'un granulat sont:

- Une résistance suffisante pour résister aux contraintes induites par les charges des équipements de construction et de trafic. La résistance requise pour des granulats dépend donc de la nature de ceux-ci (type, forme, rugosité, dureté, etc.).
- Une durabilité suffisante pour résister aux effets des intempéries (mouillage et séchage, gel et dégel, action chimique, etc.) qui dépendent du climat, de l'enrobage (bitume ou pâte de ciment), du drainage et de leur position dans la chaussée.
- Une granulométrie adéquate et une propreté suffisante pour différents usages (traitement de surface, enrobés, béton, etc.)

Les propriétés requises devant être évaluées par des essais, il importe que ceux-ci soient:

- Significatifs: C'est-à-dire qu'ils répondent aux besoins réels
- Simples et rapides: C'est-à-dire pratiques et peu dispendieux.
- Fiables: C'est-à-dire d'une précision suffisante pour un usage donné.

Etant donné que:

a) l'examen de la planche 3 montre qu'il existe des sources viables de granulats marginaux dans la région de Montréal, les plus favorables étant les calcaires et dolomies schisteux puis les schistes argileux,

b) dans l'avenir on sera de plus en plus appelé à utiliser des granulats marginaux.

IL importe:

1) de développer dès maintenant des essais appropriés et d'établir des critères d'acceptation pour différents usages de ces granulats,

2) de développer une méthode pour classifier les roches schisteuses disponibles selon leur potentiel d'utilisation dans le béton,

3) de recenser les ouvrages en béton contenant des matériaux schisteux et d'examiner le comportement physique et mécanique du béton,

4) d'établir des critères d'acceptation pour différents usages de schistes et granulats schisteux,

.../30

5) de définir les proportions granulat schisteux/granulat conforme utilisable dans un mélange normal selon la résistance et la durabilité désirées; Certaines expériences montrent qu'une certaine quantité de granulat marginaux dans le béton pourrait ne pas être délétère.

..../31

ANNEXE 1

DESCRIPTION SOMMAIRE DES METHODES D'ESSAI

DE GRANULATS MARGINAUX

1 ESSAI DE RESISTANCE

1.1 Résistance à la compression statique (Royaume-Uni)

Norme de référence: BS 812

Description: On détermine la résistance à la compression de 3 ou 4 spécimens cylindriques de 25 mm de diamètre par 25 cm de longueur. Les résultats sont présentés en MPa. L'essai est généralement effectué sur des carottes de roc.

Valeurs types: Une roche utilisée pour la fabrication des granulats doit normalement avoir une résistance supérieure à 100 MPa.

1.2a Résistance à l'écrasement sous une compression statique (Belgique, Royaume-Uni)

Norme de référence: BS 812

Description: On détermine la résistance à l'écrasement des granulats sur un calibre d'essai et sous une charge donnée dite statique. Cette charge est appliquée par l'intermédiaire d'un piston aux granulats contenus dans un récipient normalisé et après écrasement, les granulats sont tamisés sur une passoire normalisée (2 mm Belgique, 2-8mm Angleterre). Le rapport entre la masse du passant et la prise d'essai donne le taux du passant qui définit la résistance à la compression statique (Aggregate crushing value).

Valeurs types:

Couche de base: Calibre 14/20 Rc. St. 21 est marginal (Belgique)

Revêtement: Calibre 14/20 Rc. St. 12 est marginal (Belgique)

Agrégats routiers: Calibre 10/14 ACV 25 est marginal (Angleterre)

1.2 b Charge requise pour produire 10 % de fines à l'écrasement (Canada, Ontario, Irlande, Royaume-Uni)

Norme de référence: BS 812

Description: L'essai en question a pour but d'indiquer si le granulat pourra se détériorer durant la construction ou plus tard sous le poids du trafic. L'essai consiste à déterminer la charge requise pour produire 10 % de fines (passant 2.36 mm). L'essai s'effectue sur granulat sec et si nécessaire sur granulat saturé.

Valeurs types:

Couche de base: de fondation et surface non revêtue Min 50 MPa (Royaume-Uni)

Couche de base: 25 tonnes (Ontario, Canada)

Couche de fondation: 15 tonnes (Ontario, Canada)

2 ESSAI D'IMPACT ET D'ATTRITION

2.1a Indice d'impact (Irlande, Royaume-Uni)

Norme de référence: BS 812

.../33

Description: Une couche de 28 mm de granulats 10/14 est déposée dans un moule de 102 mm de diamètre et soumise à 15 coups de marteau (charge) de 14 Kg tombant d'une hauteur de 380 mm. Le pourcentage de fines (passant 2.8 mm) formé à la suite de l'essai est appelé indice d'impact (Aggregate Impact Value). L'essai s'effectue sur granulat sec, si nécessaire sur granulat saturé.

Reproductibilité: Moins bonne que l'essai décrit dans 1.2b

Valeurs types: (Granulat saturé)

Couche de fondation et surface non revêtue - max 40 (Royaume-Uni)
Couche de base des chaussées à trafic moyen - max 40 (Royaume-Uni)

2.1b Détermination de la valeur d'impact de granulat 8 à 12.5 mm (République Fédérale Allemande)

Norme de référence: MP. Part 5.5

Description: Un échantillon composé de 250 g de granulats de 8 à 10 mm, 125 g de granulats de 10 à 11.2 mm, et 125 g de granulats 11.2 à 12.5 mm est soumis à un impact de 10 coups d'un marteau (charge) tombant d'une hauteur de 370 mm. L'échantillon est ensuite tamisé sur une série de tamis aux couvertures, 8, 5, 2, 0.63, 0.2 mm respectivement. Les fractions sont pesées et exprimées en pourcentages de l'échantillon original. La moyenne des 5 pourcentages est appelée valeur d'impact S 8/12.

Valeurs types:

Couche d'usure de routes à grande circulation	18 %
Couche de base de routes à grande circulation	18 %

.../34

2.1c Essai d'impact suédois (Suède)

Norme de référence: Institut national suédois de recherches routières.

Description: Un échantillon de granulats 8.0/11.2 mm ou 11.2/16.0 mm est placé dans un mortier d'acier de 100 mm de diamètre et couvert avec un piston-plongeur. On fait tomber un poids de 14 kg 20 fois d'une hauteur de 2501 mm. On tamise l'échantillon, on calcule la valeur d'impact (matériaux passant le 18.0 & 11.2 mm respectivement).

Usage: On distingue 3 classes de granulats suivant les résultats de l'essai d'impact et de l'indice de forme.

2.2 Dégradation sous compactage giratoire
(E.U., Pennsylvania)

L'essai est effectué sur un échantillon de 500 g saturé au préalable par immersion durant 24 heures et conforme à la granulométrie suivante:

Tamis	25.4	19.0	12.7	9.5	4.76
% passant	100	77	54	37	0
Tot. indiv.	0	23	23	17	0

L'échantillon ainsi préparé est soumis à un compactage de 50 révolutions sous une pression de 0.52 MPa (75 psi). Une fois le compactage terminé, le granulat est lavé sur un tamis No 4, séché au four pendant 24 heures et pesé P_1. La perte sous compactage giratoire est alors calculée

$$D_1 = 100\ P_1 / 500\ \ 0.2\ P_1$$

.. ./35

3 ESSAI DE DEGRADATION MECANIQUE

3.1 Résistance à l'abrasion des gros granulats par la machine Los Angeles (Etats-Unis, Canada)

Norme de référence: ASTM C535 (1000 tours)
ASTM C131 (500 tours)

Description: L'échantillon est placé dans la machine avec une charge d'abrasion (billes d'acier). Après un certain nombre de tours à une vitesse de 30 tours/min, le granulat est tamisé. La portion retenue sur le tamis No 12 est lavée, séchée et pesée. La différence entre le poids original et le poids final est exprimée en pourcentage du poids original. C'est le pourcentage d'usure.

3.2 Dégradation sous l'action d'un marteau compacteur (Etats-Unis, Idaho)

Description: L'essai est effectué sur un échantillon de granulat de grosseur nominale de 19 mm et ayant 50 % des particules comprises entre 19 et 4.74 mm. L'échantillon est soumis au compactage sous l'action de 1000 coups d'un marteau compacteur et d'une pression de 1.75 MPa. IL est ensuite passé sur les tamis 4.74 et 0.074 mm et l'essai se termine par la détermination de l'équivalent de sable de la fraction inférieur à 4.74mm.

Répétabilité: Bonne

3.3 Essai d'abrasion Los Angeles modifié (Etats-Unis, Idaho)

Description: L'essai consiste à mesurer la dégradation d'un échantillon de granulat de 19 mm retenu à 50 % sur le tamis No 4 (4.76 mm) le

.../36

soumettant à une usure de 1000 tours dans la machine Los Angeles sans utiliser des billes d'acier. On détermine la dégradation du granulat en comparant la granulométrie de l'échantillon après usure à la granulométrie originale et l'essai est complété en déterminant l'équivalent de sable, la limite de liquidité et l'indice de plasticité des fines.

Répétabilité: Bonne

3.4 Dégradation due au compactage dynamique
(Etats-Unis, Alaska)

Description: Un échantillon ayant une granulométrie donnée est compacté en 5 couches soumises chacune à 56 coups d'un marteau mécanique de 4.55 kg tombant d'une hauteur de 450 mm. La dégradation se mesure en comparant la granulométrie après l'essai avec la granulométrie originale tandis que les valeurs de l'équivalent de sable, de la limite de liquidité et de plasticité permettent de déterminer la qualité des particules fines.

Répétabilité: Mauvaise

4 USURE ET/OU POLISSAGE

4.1 Essai d'usure accéléré: (Irlande, Royaume-Uni)

Norme de référence: BS812

Description: Une couche de 33 cm^3 de granulat de calibre 14 mm est ancrée dans un liant adéquat et soumise à l'abrasion. L'abrasif étant un sable standard, le pourcentage de perte par abrasion est exprimé en poids et est appelé "Aggregate Abrasion Value".

Valeurs types:

Surface des chaussées à trafic lourd: 12
Tournants brusques, pentes raides, intersections
Granulats marginaux: 15

4.2 Essai d'abrasion suédois

Norme de référence: Insitut national suédois de recherches routières (BS 812 modifié)

Description: C'est un essai très important là où l'emploi de pneus à clous est répandu. On fabrique des spécimens de 55 à 90 mm avec des granulats 8.0 à 11.2 mm. On soumet deux spécimens à l'essai d'abrasion sur la machine Dorry. On évalue la perte de poids. On a démontré que le produit des valeurs d'abrasion et de résistance donnent les indications les plus valables. Des granulats hétérogènes causent des difficultés d'évaluation.

Répétabilité: Coefficient de variation : 7 %

4.3 Coefficient de polissage accéléré
(Belgique, Royaume-Uni)

Norme de référence: N.B.N. B11 (Belgique)
BS 812 (Royaume-Uni)

Description: L'essai consiste à mesurer la résistance au polissage des granulats. Les échantillons de granulats sont ancrés dans un mortier approprié et soumis dans une machine normalisée à une action de polissage accélérée des granules d'émeri pour arrondir, puis de la poudre d'émeri pour polir les surfaces des particules. L'état de polissage est mesuré au moyen d'un pendule muni d'un patin et gradué en coefficient de polissage.

.../38

Valeurs types: Pour granulats d'enrobés de surface:

Trafic intense min 59 (Royaume-Uni)
Trafic léger min 45 (Royaume-Uni)

5 RESISTANCE AU RAYAGE DE GROS GRANULATS
(Etats-Unis, Canada)

Norme de référence: ASTM C235

Description: On soumet le granulat à un mouvement de rayage d'un cylindre de laiton. Le cylindre a un diamètre de 1/16 de pouce (1.5 mm environ) et son bout est arrondi. Un dispositif permet de le déplacer au-dessus du granulat. On considère un granulat comme mou si le cylindre creuse une rayure sans laisser de traces de métal et si des particules se détachent de la masse du granulat.

6 ESSAI DE DEGRADATION

6.1 Action de l'eau oxygénée (Espagne)

Description: Immersion pendant trois (3) jours dans l'eau oxygénée et détermination de la désagrégation pondérale.

0 % à 10 %	Désagrégation basse
10 % à 20 %	Désagrégation moyennement basse
20 % à 30 %	Désagrégation moyenne
30 % à 40 %	Désagrégation moyennement élevée
40 % plus	Désagrégation élevée

Valeurs types:

Couche de forme, avec ou sans stabilisation:	20 %
Couche de fondation avec stabilisation:	10 %

6.2 Essai micro-deval en présence d'eau (France)

Norme de référence: AFNOR-572

Description: L'essai consiste à mesurer l'usure par frottement de matériaux en présence d'eau. On introduit dans un cylindre les gravillons à étudier (granularité 4/16, 6/10 ou 10/14) avec une charge constituée par des billes d'acier, et de l'eau, Après rotation du cylindre, on mesure la quantité de fines produites, inférieures à 1.6 mm. Le coefficient micro-deval est par définition le rapport: $100 \left(\frac{m}{500}\right)$ où m est la masse sèche de la fraction du matériaù passant le tamis de 1.6mm. Le coefficient micro-deval est lié au coefficient deval par la relation approchée $MD = \frac{80}{D}$

Valeurs types:

Béton bitumineux, enduit superficiel	10 à 15
Grave traitée aux liants hydrocarbonés et grave non traitée	20 à 25
Grave traitée aux liants hydrauliques	25 à 30

6.3 Essai Washington (Etats-Unis, Pennsylvania)

Description: L'essai est effectué sur un échantillon de 500 g lavé et séché, et composé de 250 g de particules 13 à 6 mm et 250 g de 6 à 2 mm. L'échantillon ainsi préparé est placé dans un récipient en plastique avec 100 ml d'eau, puis brassé à l'aide d'un vibrateur de tamis pendant 20min. Une fois l'agitation terminée, le contenu est tamisé sur les tamis 2 mm

(No 10) et 0.074 mm (No 200) emboîtés et les fractions retenues, séchées au four et pesées. L'essai se termine par la détermination de l'équivalentde sable de la fraction passant le tamis 0.074 mm (No 200) après 20 minutes de sédimentation. La dégradation sous l'essai Washington est calculée comme suit:

$$D_2 = 0.3\ (1.00 - \frac{P_{200}}{P_{10}})\ 0.7 \times \frac{(6 + 0.6H)}{6 - 0.4H} \times 100$$

où

D_2 = Facteur de dégradation

P_{200} = Perte en grammes à travers le tamis 0.074 mm (No 200)

P_{10} = Perte en grammes à travers le tamis 2 mm (No 10)

H = Hauteur du sédiment après 20 minutes de sédimentation

Répétabilité: Bonne

6.4 Dégradation humide dans un agitateur tournant (Suède)

On disperse 500 g de granulats (2.0/11.2 mm) dans un cylindre gradué de 1000 ml et 420 mm de hauteur, ou dans un agitateur tournant à 40 tours/min. On lave sur un tamis 0.074 mm. On fait un essai de floculation sur les matériaux fins d'après la prescription du "Washington Degradation Test". La fraction de matériau dont les particules sont plus grosses que 0.074 mm est tamisée.

6.5 Essai de dégradation en présence d'eau (Oregon, Etats-Unis)

Description: L'essai est effectué sur un échantillon de 100 g de matériau composé de particules comprises entre les tamis 0.85 mm (No 20) et 2 mm (No 10). L'échantillon est ajouté dans 100 ml d'eau agitée par

.../41

l'air sous une pression de 0.14 MPa pendant 20 minutes. Après agitation, il est séché et passé sur un tamis 0.85 mm (No 20). On termine l'essai en déterminant l'équivalent de sable de la fraction passant ce tamis.

Répétabilité: Satisfaisante

6.6 Essai californien

Description: Un échantillon dont les particules sont comprises entre 13 mm et le tamis 2 mm (No 10) est dispersé à l'aide d'un vibrateur dans 200 ml d'eau pendant 10 minutes. Après l'agitation, l'échantillon est tamisé sur les tamis No 10 et 200 et on détermine la qualité des fines par l'équivalent de sable.

Répétabilité: Passable

6.7 Dégradation dans un mélangeur "planétaire" (Suède)

Norme de référence: Institut national suédois de recherches routières

Description: Ce test est adéquat pour l'évaluation de la dégradation possible des matériaux de fondation et de sous-fondation. A un échantillon de 500 g de granulat 0/16.0 mm on ajoute 50 % d'eau et on le passe au mélangeur "planétaire" comme prescrit dans le rapport VIT 140. C'est surtout l'augmentation de la fraction 0.074 mm qui détermine la dégradation. Un jugement après examen pétrographique détermine la nécessité de cet essai.

7 MOUILLAGE ET SECHAGE

7.1 Essai de dégradation Franklin (Ontario, Canada et Etats-Unis)

L'essai est effectué sur un échantillon de 500 g placé dans

un cylindre en grillage de 2 mm d'ouverture. IL consiste à déterminer le pourcentage de particules de 13.19 mm dégradées à moins de 2 mm après 3 cycles de séchage puis d'usure par 200 révolutions du cylindre immergé jusqu'à 2 cm au-dessus de l'axe de rotation.

7.2 Dégradation par mouillage et séchage (Pennsylvania, Etats-Unis)

L'échantillon est préparé et soumis à 10 cycles de mouillage et séchage. Les phases de chaque cycle sont les suivantes:

- Immersion de l'échantillon pendant 25 heures dans l'eau
- Lavage de l'échantillon sur un tamis 4.74 mm (No 4)
- Séchage au four de la portion retenue pendant 24 heures

Une fois les 10 cycles terminés on calcule la perte par dégradation comme suit:

D = 0.2 P où P est la portion retenue sur le tamis 4.74 mm (No 4) après 10 cycles de mouillage et séchage.

8 DEGRADATION PAR CYCLE DE GEL/DEGEL

8.1 Durabilité au sulfate de magnésium ou de sodium (Etats-Uni, Canada)

Norme de référence: ASTM C88

Description: Cet essai accéléré simule l'action de gel/dégel. Les gros granulats et les granulats fins sont séparément soumis à l'immersion dans une solution de $MgSO_4$ (un nombre spécifié de cycles d'immersion de 16 à 18 h et de séchage). Après rinçage final et séchage on établit par examen visuel et pesée des fractions, les changements survenus par rapport à la granulométrie originale.

.../43

Répétabilité:

Ecart type, %	Différence max. entre 2 essais, %
11	31
25	71

Valeurs types: Granulats pour revêtement: 18 %

8.2 Gel et dégel dans la saumure (Suède)

On soumet des granulats (11.2/16.0 mm) à des essais de gel et dégel par des solutions faibles des sels (par exemple: NaCl - 1 %, urée - 2.5 %). C'est un essai pour des granulats à couche d'usure surtout pour chaussées en béton et pistes d'aéroport. Cet essai semble être utile surtout si l'examen pétrographique indique une hétérogénéité des granulats.

9 ESSAI D'ABSORPTION

9.1 Absorption de granulats fins (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C128

Description: On place dans un pycnomètre 500 g de granulats fins et on remplit d'eau jusqu'au trait de calibration. On note le volume d'eau ajoutée et on pèse le tout. On aura noté aussi le poids du pycnomètre vide. A partir de ces valeurs on déduit par des formules appropriées la densité Bulk, la densité apparente et l'absorption du granulat fin.

.../44

9.2 Absorption des gros granulats (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C127

Description: On lave les granulats, et on les fait sécher à 110°C. On laisse refroidir (1 à 3 h) et on les immerge dans l'eau pour 24 ± 4 h. On éponge l'eau de surface et l'on pèse à l'air. Ensuite on le pèse dans l'eau à 23 ± 1.7°C (on libère l'air emprisonné par agitation). A partir du poids de l'échantillon dans l'air, du poids de l'échantillon épongé dans l'air et de son poids dans l'eau on détermine la densité "Bulk", la densité apparente et l'absorption des granulats.

9.3 Essai d'absorption (Canada, Ontario)

L'essai est effectué sur un échantillon de granulat sec de 500 g. IL consiste à mesurer le gain d'humidité pendant 72 heures.

10 ANALYSES PETROGRAPHIQUES

10.1 Nombre pétrographique (Québec, Canada)

Norme de référence: Ministère des Transports du Québec

Description: Pour déterminer le nombre pétrographique d'un granulat, il s'agit d'abord de séparer par tamisage l'échantillon en fractions de particules de grosseur semblable et de calculer la masse total de la fraction de chaque grosseur; de séparer ensuite les particules de chaque grosseur en groupe de même nature et de peser chaque groupe; de choisir le facteur pétrographique de chaque groupe (calcaire dur - 1, calcaire schisteux - 3, schiste argileux - 6, etc.) et de multiplier ce facteur par le rapport du poids de la fraction de même nature au poids de la fraction de même grosseur; de faire la somme de ces produits pour toutes les natures d'une

.../45

grosseur, ce qui donne la cote pétrographique; répéter le même procédé pour chaque grosseur et établir la moyenne pondérée.

Valeurs types:

- Fondation	250 max
- Accotement, couche de roulement non pavée	175 max
- Béton de ciment - gros granulat	120 max
- Enrobés	
. couche de surface	120 max
. couche de liaison	140 max
. couche de base	160 max

10.2 Examen pétrographique des granulats pour béton (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C295

Description: L'examen des échantillons de granulats, de sable, de carottes de forage ou de roches se fait au moyen d'un microscope pétrographique. On détermine, texture, couleur, hétérogénéités, composition présence de matières délétères. Dans certains cas, on se sert de diffraction de rayons X ou de spectroscope infrarouge.

11 ESSAI DE L'INFLUENCE DE L'EAU SUR LES ENROBES

11.1 Essai de désenrobage de mélanges bitumineux (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM D1664

Description: Après un traitement approprié le mélange granulat-bitume est immergé dans l'eau distillée à 25°C pour une période de 16 à 18 h.

.../46

Après cette période, la surface totale des granulats qui a conservé l'enrobage est évaluée visuellement comme étant en-dessous ou au-dessus de 95 %. Le procédé diffère selon l'aspect du liant hydrocarbonné (bitume liquide, émulsion, ciment asphaltique ou goudron).

Valeurs types: Acceptable si le désenrobage est inférieur à 5 %

11.2 Immersion statique, modifié (Canada, Ontario)

Norme de référence: Ministère des Transports de l'Ontario

Description: Cet essai est une modification de l'essai ASTM D1664, Coating & Stripping of Bitumen - Aggregate Mixtures. On emploie une solution saline à 0.5 % à la place de l'eau; la température est de 50°C au lieu de 25°C.

11.3 Essai d'immersion Marshall (Canada, Ontario)

Norme de référence: Ministère des Transports de l'Ontario

Description: Cet essai est une modification de l'essai ASTM D1075 Effect of Water on Cohesion of Bituminous Mixtures. Six briquettes sont séparées en 2 groupes de 3. Le groupe 1 subit l'essai Marshall après une heure d'immersion dans l'eau distillée à 77°F (25°C). Le groupe 2 est placé dans une solution saline à 0.5 %, sous vide, pour une heure, ensuite dans une solution analogue (pression atmosphérique) pour 24 h. Enfin, il est laissé pour une heure dans l'eau distillée à 77°F (25°C) et testé. On calcule la stabilité résiduelle en pourcentage de la stabilité originale.

.../47

11.4 Effet de l'eau sur la cohésion des mélanges bitumineux compactés

Norme de référence: ASTM D1075

Description: Six briquettes Marshall sont séparées en 2 groupes de 3. Le premier groupe est maintenu à 77°F (25°C) pour 4 heures et la stabilité déterminée par compression Marshall. Le deuxième groupe est maintenu à 120°F (60°C) pour 24 heures et transféré après dans un bain à 77°F pour 2 heures, avant de déterminer la compression Marshall. On calcule la résistance à la compression retenue en pourcentage de la résistance du groupe 1.

12 FORME DES PARTICULES

12.1 Indice de forme (Suède)

Norme de référence: Institut national suédois de recherches routières

Description: On tamise le granulat sur un tamis a ouvertures carrées. Ensuite la fraction d'essai (ex. 5 - 6 - 8 mm; 8 - 11.2 mm ou 11.2 - 16 mm) est tamisée sur un tamis à ouvertures oblongues. Le rapport moyen entre la dimension intermédiaire et la dimension minimale est calculé à partir d'un diagramme semi-logarithmique, d'une figure et d'une table construite. On voit que la distance "d" est l'indice de forme (flakiness index).

12.2 Indice de forme (flakiness index) (Royaume-Uni)

Norme de référence: BS

Description: Les particules sont séparées en différentes fractions par tamisage. L'indice de forme est défini comme étant un pourcentage de la masse des particules qui, dans un échantillon de granulat d'une seule dimension, ont une épaisseur (leur plus petite dimension) inférieure à 0.6 fois leur dimension moyenne.

.../48

12.3 Coefficient de forme AFNOR (France)

Norme de référence: P18-301

Description: La mesure du coefficient de forme des particules ne s'effectue que sur celles dont la dimension est supérieure à 6.3 mm. Le coefficient volumétrique C d'une particule est le rapport entre le volume de la particule et le volume de la sphère circonscrite. Le coefficient volumique C d'un granulat est égal au rapport du volume total du granulat et de la somme des volumes qui circonscrivent la plus grande dimension diamétrale des particules.

Valeurs types: Gravillons pour béton à résistance élevée: Min 0.15

13 DETERMINATION DES IMPURETES

13.1 Détermination de mottes d'argiles et autres particules friables dans les granulats (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C142

Description: On place une quantité pesée de granulats en couche mince dans un récipient et l'on couvre d'eau distillée pour une période de 24 ± 4 heures. On triture et écrase les mottes entre le pouce et l'index et l'on procède à un tamisage humide. On calcule le pourcentage des particules friables.

13.2 Détermination du pourcentage de particules passant le tamis No 200 (75 µ) par lavage (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C117

.../49

Description: On lave un échantillon de granulat par une méthode appropriée et l'on décante les eaux de lavage contenant les particules fines en suspension (et les matières solubles). La perte de poids par lavage de l'échantillon pesé préalablement est exprimée en pourcentage du poids original.

Précision	Ecart type	Diff. Max. entre 2 essais
Répétabilité	0.10 %	0.28
Reproductibilité	0.20 %.	0.62

14 NOCIVITE DES FINES

14.1 Essai au bleu de méthylène (France)

Norme de référence: Norme AFNOR P18-592

Description: Le bleu de méthylène se fixe de préférence sur la surface des argiles, et de façon négligeable sur les matériaux inertes. Cette particularité permet d'apprécier la quantité de fines nocives contenues dans un matériau (fines argileuses) en fonction de la quantité de bleu absorbé. Par exemple, pour pouvoir être utilisé dans un béton bitumineux, un sable 0/2 avec 15 % de fines ne doit pas absorber plus de 1 g de bleu pour 100 g de fines. L'essai consistera à mettre en présence 100 g de sable et 0.15 g de bleu dans 100 cc d'eau. Après mélange, une goutte de la suspension est déposée sur un papier filtre. IL se forme une tache bleue avec autour une auréole qui est incolore sl tout le bleu a été absorbé: le sable est, dans ce cas, trop pollué. L'auréole est bleue s'il n'y a pas assez d'argile pour absorber le bleu de méthylène; le matériau est alors considéré conforme.

.../50

Valeurs types

Graves traitées aux liants hydrauliques et graves non traités	Quantité de bleu absorbée 2 g pour 100 g de fines
Graves traitées aux liants hydrocarbonés	Quantité de bleu absorbée 1 g pour 100 g de fines

14.2 Impuretés organiques dans les sables à béton (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C40

Description: On place dans un plasque de 12 once (350 ml) du sable jusqu'au trait de 4½ once (310 ml). On ajoute une solution de 3 % de NaOH pour couvrir de sable. On bouche et on agite vigoureusement (volume total 7 once (200 ml)). On laisse reposer 24 heures. La couleur de liquide surnageant est comparée à des solutions standard de chromate de potassium. On a aussi une série de plaques de verre coloré. Plus la couleur est intense (foncée) plus il y a d'impureté .

14.3 Influence des impuretés organiques dans les granulats fins sur la résistance du mortier (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C87

Description: On soumet aux essais de résistance, 18 échantillons cubiques de mortier (cubes de 2 po^3, 500 mm de côté). Neuf sont préparés avec du sable lavé à la solution de NaOH et rincés, neuf autres avec du sable non traité. Les essais de résistance sont faits après 7 jours de mûrissement. Vitesse d'application 345/kPa/s. On divise la résistance moyenne des éprouvettes de sable non traité par celle des éprouvettes de sable traité; on exprime ce rapport en pourcentage.

.../51

14.4 Mesure de réactivité potentielle de granulats (méthodes chimiques) Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C289

Description: Une quantité de granulats est broyée et seulement la portion entre les tamis 0.297mm (No 50) et 0.149 mm (No 100) est conservée. Une quantité de 25 grammes de cette portion est attaquée par 25 ml de NaOH, 1N et placée pour 24 heures dans un bain à 80 ± 1°C. On filtre, et sur le filtre on détermine

1) la silice dissoute (photométrie ou gravimétrie), et
2) la réduction en alcalinité par HCl, 0.05 N.

14.5 Mesure de réactivité alcaline potentielle des roches carbonatées pour granulats à béton (Canada, Etats-Unis)

Norme de référence: ASTM C586

Description: Les roches carbonatées immergées dans une solution de NaOH subissent une expansion. L'allongement indique le niveau de réactivité. On immerge alors des petits cylindres de roches et on mesure à 7, 14, 21, 28 jours et après, tous les mois jusqu'à 1 an. Un allongement dépassant 0.10 % indique une réaction chimique. On peut cependant pas à l'heure actuelle conclure d'une expansion du béton, uniquement sur la foi de cet essai.

ANNEXE 2

ANNEE	PUBLICATION	CODE-SUJET 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1965	Beneficiating a Shale Contaminated Limestone by Heavy Media Seperation. Missouri State Highway Dept. Project HPR-1(4)-28. 48 p.			*					*		
1958	ADAMS, A. Improving the Durability of Concrete in Maine. Highway Research Board Proceedings. Vol 37. pp 306-328.								*		
1965	ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION. Investigation of Cement-Replacement Materials. Report 12. Compressive strength Development of 193 Concrete Mixtures During 10 Years of Moist Curing. Phase A. Report No. AEWES-Misc-Paper-6-123-12.42p.								*		
1958	BEECROFT, G.W. Time Deformation Studies on Two Expanded Shale Concretes. Highway Research Record. Hwy. Res. Board. Vol 37. pp 90-105.							*	*		
1962	BEECROFT, G.W. Creep and Shrinkage of two Lightweight Aggregate Concretes. Highway Research Board Bulletin, No 307 pp 26-41.							*			
1966	BEECROFT, G.W. Time Dependent Deformations of two Lightweight Aggregate Concretes. Highway Research Record. Hwy Res. Board No 147. pp 157-172.							*			
1975	BERARD, J.; ROUX, R.; DURAND, M. Performance of Concrete Containing a Variety of Black Shale. Ecole Polytechnique de Montréal. Que. Can. J. Civ. Eng. Vol. 2. No 1. p 58-65.				*				*		
1966	BRIGGS, G.O. Some Factors Influencing Durability of Concrete Flaming Gorge Dam Colorado River Storage Project. Bureau of Reclamation. Denver. Colo. Concrete and Structural Branch. Report No C-1178, 44 p.								*		
1962	BUCK, A.D. Alkali-Silica and Alkali-Carbonate Reactivity of a South Dakota Sand. Army Engineer Waterways Experim ent Station. Vicksburg. Miss. Report No. AEWES-Misc-Paper-6-530. 15 p.								*		
1958	BUCK, A.D., HOUSTON, B.J.; PEPPER, L. Effectiveness of Mineral Admixtures in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to Alkali-Aggregate Reaction. Army Engineer Waterways Expe-riment Station.Vicksburg.Rept No WES-TR-6-481.58p.								*		
1970	BUKOVATZ, J.E.; WENDING, W.W.; WALLACE, H.E. Expanded Shale Used as Admixture for Sand-Gravel Aggregate Concrete. Kansas State Highway Commis-sion. Planning and Development Dept. 25 pp.									*	
	CARLSON C.C. Fire Resistance of Prestressed Concrete Beams. Study A - Influence of thickness of concrete cove-ring over prestressing steel strand. Portland Ce-ment Assoc. R & D Lab. Bull. Report No 147.									*	

SUJET(S):

3) UTILISATION DU SCHISTE; 7) GRANULAT LEGER; 8) CARACTERISTIQUES;

ANNEE	PUBLICATION	CODE-SUJET 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1975	CHAPMAN, D.R. Shale Classification Tests and Systems: A Comparative Study. JHRP 75-11. Project HPR-1(12). 103 pages.						*				
1972	CLARK, T.H. Géologie de Montréal. Rapport geologique 152. Ministère des Richesses Naturelles, Québec.	*									
1972	CORMON, P. Lightweight Concrete of Today. Eyrolles Boulevard St-Germain. Paris. France. 391 pp.							*			
1973	DEO, P. Use of Shale in Embankments. TRB SR-148, p. 87-96.			*							
1978	EVRARD, H.; LEBAS, M. Gravel-Cement: (1) Mechanical and Physical Characteristics - Workability of Gravel-Cement - Index of the Mineralogical nature of cement. Bull. liaison des lab. Ponts & Chaussées No 94. pp 111-119.								*		
1973	FISKAA, O.M. Concrete in Alum Shale. Norwegian Geotechnical Institute. Oslo, Norway. No 101. 16 pp.			*							
1971	FISKAA, O.M.; HANSEN, H.; MOUM, J. Concrete in Alum Shale. Norwegian Geotechnical Institute Publ. No 86. 32 pp.			*							
1970	FRANKLIN, J.A. Classification of Rocks According to its Mechanical Properties. Ph D Thesis. University of London. London. England.						*				
1971	GAMBLE, J.C. Durability Plasticity: Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks. Ph D Thesis. University of Illinois Urbana.						*				
1974	HALL, D.J.; HOUGHTON, D.L. Roller Compacted Concrete Studies at Lost Creek Dam. Army Engineer District Portland Oregon. 56 p.			*							
1961	HAMROL, A. A Quantitive Classification of the Weathering and Weatherability of Rocks. Proc. 5th Int. Conference Soil Mech. Found. Eng. Paris. p. 771-774						*				
1971	HANQUEZ et BOUTRY Utilization of Fly-ash and Carboniferous Shale in the North and Pas-de-Calais Coal Fields. Annales des Mines. France. pp 5-22.			*							
1973	HANQUEZ, E.; BOUTRY, C.; CHAUVIN, R. Colliery Shale as a Raw Material for Building Purposes. Int. Coal. Prep. Cong., 6th. Paris. France. Mar. 1973. Pap 7E. 9 p.			*							

SUJET(S):

1) GEOLOGIE; 3) UTILISATION DU SCHISTE; 6) CLASSIFICATION DU SCHISTE;
7) GRANULAT LEGER; 8) CARACTERISTIQUES;

ANNEE	PUBLICATION	CODE-SUJET									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1980	HAQUE, M.N. Use of Some Marginal Aggregates in Rolled Dry Lean Concrete. Australian Road Research Board. Vol. 10 No 4. pp. 21-26.			*							
1979	HARPER, TR; APPEL, G; PENDLETON, MW; SZYMANSKY, JS TAYLOR, RK Swelling Strain Development in Sedimentary Rock in Northern New York. Int. Journal of Rock Mech. & Mining Sci. Vol. 16. No 5. pp. 271-292.								*		
1974	HARRISON, W.H. Synthetic Aggregates Sources and Resources. Cement and Concrete Association. Concrete vol. 8. No 11, nov 1974. pp. 41-44.							*			
1969	HELLENBECK, R.P.; TYRELL, M.E. Raw Materials for Lightweight Aggregate in Appalachian Region, Alabama and Georgia. Bureau of Mines Washington, D.C. Report No RI-7244. 25 pp.							*			
1971	HELLEY, W. and Mac IVER, B.N. Development of Classification Index for Clay Shales. Report I, Technical Report 5-71-6. Waterways experiment Station. Vickburg. Mississippi.						*				
1966	HEUFERS, H.; AURICH, H. Development of Lightweight Concrete in Germany. Betonstein-zeitung, Wiesbaden. Vol. 32, No 5. pp. 265-283.							*			
1968	HILSON, H.S. The Canadian Lightweight Aggregate Industry.							*			
1975	HODE KEYSER, J. Evaluation des Méthodes de Stokage et d'Essais d'Agrégats. Centre de développement technologique, Ecole polytechnique de Montréal. Rapport B-004-74. 203 pages.		*								
1978	HODE KEYSER, J. Use of Shale and Shally Aggregates in Bitumineus Mixtures. Annual meeting, Road and Transportation Association of Canada. Ottawa.			*							
1978	HODE KEYSER, J. Durability of Materials and Construction. International Conference on the Durability of Materials, American Society for Testings and Materials, Ottawa.			*							
1981	HODE KEYSER, J. Utilisation du Schiste et des Matériaux Schisteux dans la Construction Routière. Proceeding Technical Asphalt Association. Montréal. 45 pages.			*							
1961	HOUDE M. et CLARK T.H. Carte Géologique des Basses Terres du St-Laurent. Carte 1407. Ministère des Richesses Naturelles, Québec.	*									

SUJET(S):

1) GEOLOGIE; 2) PRODUCTION; 3) UTILISATION DU SCHISTE;
6) CLASSIFICATION DU SCHISTE; 7) GRANULAT LEGER; 8) CARACTERISTIQUES;

ANNEE	PUBLICATION	CODE-SUJET 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1959	JONES, T.R.; HIRSCH, T.J. Creep and Shrinkage in Lightweight Concrete. Highway Research Board Proceedings. Vol 38. pp 74-89.							*	*		
1963	KENNEDY, T.B. High-Compressive-Strength Concrete. A Progress Report. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg Miss. Report No AEWEA-Misc-Paper-6-567. 36 p.								*		
1964	LANG, C.H.; WALSH, R.J. Concrete Exposure Tests - Phase 1. Highway Research Record. Highway Research Board. No 62. pp 1-6.								*		
1969	LEDBETTER,W.B.; GALLAWAY,B.M.; MOORE,W.M.; BUTH,E. A Recommended Synthetic Coarse Aggregate Classification System (Revised August 1969). Texas Transportation Inst., College Station. Project TTI-2-8-65-81. 13 p.						*				
	LENTZ, A.E.; MONFORE, G.E. Thermal Conductivity of Concrete at Very Low Temperatures. Portland Cement Association R & D Lab. Bull. No 182.								*		
1964	LORMAN, W.R. Permeability of Coral Concrete. Naval Civil Eng. Lab Port Hueneme. California. Project No Y R007 05 014. 2 p.								*		
1962	LUKE, W.I. Investigation of Abnormal Stiffening of Concrete Containing Calcined Shale Pozzolan. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. Report No WES-MP-6-510. 20 pp.								*		
1975	LYDON, F.D. Artificial Aggregates for Concrete. Cement and Concrete Association. Wales University. Concrete vol. 9, sept. 1975. pp 32-33.							*			
1978	MALISH, W.R. Aggregates for Concrete. ACI Educationnal bulletin, No EI-78. American Concrete Institute. 56 pages.				*						
1978	MAYER , A. Expanded Shale - A Lightweight Concrete Aggregate. Montanuniversitoet Leogben. Austria. Zement und Beton Vol. 23. No 2/3 Feb. 1978, pp 98-101.							*			
1974	MIRKOVITCH, V.V. Recovery of Waste Energy in the Production of Expanded Shale Aggregate. Can., Mines Br. Tech. Bull. TB 184. Jan. 1974. 12 p.							*			
1974	MORGENSTERN, N.R. and EIGENBROD Classification of argillaceous soils and rocks. J. Geotech. Eng. Div. ASCE GT10. p 1137-1156.						*				
1972	MURAOKA, J.S. Antifouling Concrete. Naval Civil Engineering Lab Port Hueneme Calif. Report No. NCEL-TN-1211, Project YF51.543.007.								*		

SUJET(S):

4) GRANULAT POUR BETON; 6) CLASSIFICATION DU SCHISTE; 7) GRANULAT LEGER;
8) CARACTERISTIQUES;

ANNEE	PUBLICATION	CODE-SUJET 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1950	PHILBRICK, S.S. Foundation Problems on Sedimentary Rocks in Applied Sedimentation, (P.D. Task ed.), Wiley. Chap. 8, p. 147-167.					*					
1974	PORTLAND CEMENT ASSOCIATION Design and Control of Concrete Mixtures. 11th Edition.				*						
1970	QUIGLEY, R.M.; VOGAN, R.W. Black Shale Heaving at Ottawa, Canada. University of Western Ontario. London. Can Geotech J. Vol. 7, No 2. pp 106-112.								*		
1961	SCHUSTER, R.L.; McLAUGHLIN, J.F. A Study of Chert and Shale Gravel in Concrete. Highway Research Board Bulletin. No 305. pp 51-75.			*	*						
	SELVAGGIO, S.L.; CARLSON, C.C. Fire Resistance of Prestressed Concrete Beam. Study B -Influence of Aggregate and Load Intensity Portland Cement Assoc. R & D Lab. Bull. Report No 171.								*		
1972	SOCIETE DE DIFFUSION DES TECHNIQUES DU BATIMENT Light-Weight Aggregate Concrete. Bâtir N15, Sept. 1972. pp 49-63.							*			
1968	TEYCHENNE, D.C. Lightweight Aggregates: Their Properties and Use in Concrete in the United Kingdom. Cement and Concrete Assoc. London. U.K. Vol. 1. pp. 23-37.							*			
1973	TOUBEAU, G. Manufacture of Lightweight Aggregates from Washery Screen Discard. Int. Coal Prep. Cond. 6th, Paris. France. Mar. 1978. Pap. 8E. 11 p.							*			
1967	UNDERWOOD, L.B. Classification and Identification of Shales. J. Soil Mech. Found. Eng. Div., ASCE SM-6. p 97-117.					*					
1976	VIRLOGEUX, M. Lightweight Concrete. Association Professionnelle des Ingenieurs des P.& CH. et des Mines. Bulletin du PCM No 9. pp 43-47.							*			
1933	WALKER, S.; PROUDLEY, C.E.; LANG F.C. Shale in Concrete Aggregates. Highway Research Board Proceedings. Vol 12. Pt. 1. pp 273-304.		*								
	WALLACE, H.E.; BUKOVATZ, J.E. Expanded Shale Used as an Admixture for Sand-Gravel Aggregate. Kansas State Highway Commission. Report No. 65-3.						*				